

Weltall und Leben.*)

Von Egon Ullrich.

Ein akademischer Festtag ist heut. Voll Hoffnung auf ein neues Werden in diesen Mauern tritt die Hochschule vor ihre Gäste, vor ihre Freunde, die uns so oft helfend zur Seite gestanden sind. Aus der harten Arbeit in den Stollen und Schächten unserer Wissenschaft richten wir uns auf, Ihnen eine Dankesgabe zu bringen.

Auch uns mag das ein Festtag sein, willkommener Anstoß, etwas von dem vorzubringen, es in gedrängter Rede zu kristallisieren, und es funkelnd, scharf geschliffen einzufassen — etwas von dem, was uns tiefste Freude macht, weil unser heißes Bemühen als Forscher darum geht. Nicht Einzelzüge, sondern ein ganzes Bild soll unser Ziel sein: Weltall und Leben!

„Schau mit Kinderaugen in die wunderbare Welt!“ So schrieb mir in meinen Werdejahren ein Dichterfreund auf den Weg. Am Kinderauge ist das Köstlichste die Kraft, stets Neues zu erfassen, und es — mit Staunen und Fragen zugleich — zum Eigen zu machen. Zum Kinderauge hinzu reift das Manneswollen, das aus der staunenden Frage den Anstoß zieht zur bewußten, zielstrebigem Forschung, zum Kampf um die Antwort. Das Leben ist das größte der Wunder im Weltall. Ihm gilt unser Staunen, ihm unser Fragen: Was ist sein Ort in dem Bilde von der Natur als Ganzes, wie die Wissenschaft unserer Zeit es sieht?

Ein solches Bild ist zu allen Zeiten von den Suchenden in der Menschheit angestrebt worden. Es ist und bleibt zu jeder Zeit an die Grundvorstellung gebunden, in die ein Kulturkreis verhaftet ist. Es ist daher mit Notwendigkeit wandelbar. Zu allen Zeiten haben Dichter, Seher und Priester sich darum bemüht und frühere Antworten aus mythischen Kreisen entnommen. Unsere Zeit

*) Akademische Festrede bei der Tagung der Gießener Hochschulgemeinschaft am 15. Juli 1950.

steht im Banne der wachsenden Naturwissenschaft: Durch Sammeln und Vergleichen, durch Beobachten und Messen, durch Verwerfen und Sichern hat diese Tatsachen und Gesetze zu unumstößlichem Besitz gemacht, die kein Bild von Weltall und Leben und von ihrem Werden außer Acht lassen kann.

Jedes solche Bild muß in seiner Linienführung auf diese gesicherten Tatsachen und Naturgesetze Rücksicht nehmen; es muß zwischen ihnen verlaufen, von einem zum nächsten führen, es muß sie „interpolieren“, ganz wie in der Mathematik eine Kurve zwischen vorgegebenen Punkten interpoliert. Gerade dieses mathematische Gleichnis macht uns aber deutlich, daß das gesuchte Bild noch nicht ganz eindeutig bestimmt sein braucht, wenn auch viele seiner Punkte festliegen ¹⁾).

Die Vorstellungen, durch die wir gesicherte Tatsachen und Gesetze zu verbinden suchen, unterliegen im Rahmen unserer Naturwissenschaft noch einer weiteren, und entscheidenden Bedingung: Jedes solche Bild muß sich vereinbaren lassen mit der Gesamtheit der uns bekannten Strukturen, welche unser reines Denken erschlossen hat — oder vielleicht noch zu erschließen vermag. Das gerade ist der Beitrag der Mathematik: Diese Wissenschaft, so oft als eine reine Technik verkannt und abgetan, ist in Wahrheit die große Ordnerin der Dinge, die Ordnerin der Fülle von Stoff, welchen die Naturwissenschaft aller Richtungen zusammengetragen hat. So überraschend es — für den Laien — klingen mag: Die Mathematik unserer Tage ist in gewissem Sinne daran, einen Überblick über die Gesamtheit aller denk-möglichen Strukturen aufzustellen! Und jedes Bild von einer werdenden Welt muß sich einer denkmöglichen Ordnung fügen. Das ist der feste Glaube aller Naturwissenschaftler, wenn ihn vielleicht auch nicht alle frei bekennen.

Die Mathematik erschließt solche Strukturen durch ihre grundlegenden Begriffsbildungen, Zuordnung und Gruppe. Im Besonderen durch Funktionen, die den Ablauf von Naturerscheinungen beschreiben, und die in ihrer Struktur durch Differential-, Integral- oder allgemeinere Funktionalgleichungen gekennzeichnet

werden: Gerade darin erkennen wir den Kern der Naturgesetze. Sie vermag die Ergebnisse von Messungen durch Zahlen wiederzugeben, und sie geht darüber hinaus, indem sie geordnete Systeme von Zahlen benutzt, um kompliziertere Erscheinungen zu erfassen; mit solchen Systemen, Matrizen genannt, kann man in einer Weise rechnen, welche das Zahlenrechnen umfaßt und verallgemeinert. Die Fruchtbarkeit solcher Begriffsbildung findet ihre großartige Bestätigung darin, daß solche Matrizen ebenso dazu taugen, die Struktur des Raumes im Großen und die der Atome im Kleinen zu beschreiben — wie auch dazu, einen Überblick zu gewinnen über die Ergebnisse, welche fortgesetzte Inzuchtverfahren in biologischen Laboratorien oder Züchtungsinstituten erwarten lassen²⁾).

Ich nenne dazu ein Beispiel: Was ist Raum? Was ist es, das an unserer Vorstellung von dem uns umgebenden Raum als das Wesentliche erscheinen muß? Punkte, Gerade und Ebenen mag man für die Elemente einer Raumgeometrie halten. Das Nebeneinander der Punkte, die Möglichkeit Winkel und Längen zu messen, Abstandseigenschaften, den Zusammenhang mag man für eigentümlich ansehen. Die Mathematik hat erkannt, daß es viele Objekte gibt, denen solche „Raumeigenschaften“ zukommen, und sie hat, in gewissem Sinne, einen vollständigen Überblick über die Gesamtheit der denkmöglichen Räume gewonnen. Das ist die Leistung der Geometrie, von den Zeiten Platos und Euklids bis ins neunzehnte und zwanzigste Jahrhundert.

Als dann die Relativitätstheorie aufkam, ein großartiger Ansatz rein mathematischer Art, mit dem unantastbaren Ergebnis des Versuchs von Michelson fertig zu werden („Das Licht breitet sich nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit aus, unabhängig von einer etwaigen Geschwindigkeit der Lichtquelle“) da ließ sie erkennen, daß die alten Raumvorstellungen Euklids zu eng waren; sie sprengte dieses Kleid. Da hatte aber die Geometrie des neunzehnten Jahrhunderts schon eine ganze Sammlung allgemeinerer Raumvorstellungen bereitgestellt, die sich als geeignet erwiesen, die Erfordernisse der Relativitätstheorie zu erfüllen. Die Mathematik hatte die „Struktur“ schon vorher gefunden, welche

die Relativitätstheorie, als folgerichtige Ausdeutung der Maxwell'schen Gleichungen der Elektrodynamik, erforderte.

Lassen Sie mich damit genug gesagt haben um anzudeuten, wie die Mathematik auf dem Wege sei, „alle denkmöglichen Strukturen“ aufzudecken, in die schließlich Naturgesetze und Deutungen der Natur, und ganz besonders auch unsere Versuche eingekleidet werden müssen, das Werden der Natur zu begreifen. Diese Strukturen sind — manchmal — ganz wesentlich komplizierter als der „naive“ Naturbetrachter es gerne haben möchte; das haben wir eindrucksvoll in der modernen Atomtheorie und Quantenphysik erfahren müssen; aber gerade solche Erfahrungen haben uns gelehrt, daß die Mathematik viel stärker ist, und viel weiter zu kommen erlaubt, als der unmittelbare Angriff und „naive“ Vorstellungen zum „Verstehen“ der Natur.

Das 17. Jahrhundert hat einem mechanistischen Weltbild das Leben gegeben, in dessen Gefolge man daran gedacht hat, alle Erscheinungen berechnen zu können; zwar nicht wir Menschen, mit unserer beschränkten Einsicht und Rechenkraft, doch könnte es ein Übermensch mit genialen mathematischen Fähigkeiten, den man scherzhaft als den Laplaceschen Dämon bezeichnet hat. Wir denken nicht daran, diesen Dämon wieder auferstehen zu lassen, der als ein Opfer des Auffassungswandels in der Mathematik verblaßt ist, und zuletzt noch einen Todesstoß aus der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung in der Quantentheorie empfangen hat.

Wir sind aber gleichwohl überzeugt, daß die Natur harmonisch geordnet ist, und daß — soweit wir es bis heute aufs Beste erfahren haben — diese Harmonie ihren tiefsten Ausdruck in mathematischen Gesetzen und Strukturen findet. Darum mag auch gestattet sein, daß ein Mathematiker zu einer Frage das Wort nimmt, wie wir sie heute verfolgen wollen; sie zu behandeln erfordert Vertrautheit mit dem Ganzen der Naturwissenschaft, von der Astronomie bis in den modernsten Zweig der Biologie, die Genetik. Gerade diese Gebiete aber sind im Besonderen von mathematischen Gedankengängen durchdrungen und gefördert worden; die Mathematik als Ordnerin hat sie mir in meiner Tagesarbeit bekannt gemacht. So hoffe ich, Ihnen etwas von meiner Arbeit sagen zu

können, wie sie mitten ins Ganze der Naturwissenschaft verwoben ist.

Weltall und Leben? Unser Blick soll sich nun darauf richten, welche Stellung im Weltall dem Leben zukommt, was seine Besonderheit ist, was sein möglicher Ort. Wir können keine Antwort geben in der Richtung auf eine Existenz, aber wir können die notwendigen Voraussetzungen prüfen und fragen, in welchem Umfange sie in dem Weltall verwirklicht sein können, wie unsere Naturwissenschaft es sieht.

Die Frage wird meist in der recht primitiven Form gestellt, ob es Menschen auf dem Monde oder auf dem Mars gebe. Wir fragen in viel weiterem Sinne, ob Leben irgendwo im Weltall sein könne, auch außerhalb der Erde. Dabei verstehen wir Weltall und Leben im weitesten Sinne der Astronomie und der Biologie unserer Tage. Unser Vortrag soll dabei den Worten unseres Kollegen, Prof. Spatz, über „Hirnentwicklung und Menschenwerdung“ zur Seite treten³⁾.

2. Zum Ausgangspunkt wählen wir die Feststellung: Die Naturgesetze, welche Physik und Chemie hier auf Erden in den letzten Jahrhunderten erschlossen haben, gelten auch im ganzen Weltall, soweit wir das immer neu und immer weiter bestätigen könnten durch das Wechselspiel von genauen Messungen der Lichtsignale von den Sternen und der Theorie der Erscheinungen, die diesen Signalen zugrundeliegen.

Diese Theorien betrafen einst die Geometrie und Mechanik des Planetensystems: Claudius Ptolemaios um 150, Nicolaus Copernicus 1543 und Johannes Kepler 1609—27 haben die Geometrie der Planetenbewegungen begründet, auf neue Grundlagen gestellt und vollendet; Sir Isaac Newton hat in der Zeit um 1670 in seinem Gravitationsgesetz die mechanische Ursache dazu aufgedeckt und die geometrischen Gesetze Keplers mit mathematischen Mitteln daraus folgern können. Es ist ein und dasselbe Gesetz, das den Apfel vom Stamme fallen läßt, und das die Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten beherrscht; die mathematischen Folgerungen lassen sich mit solcher Genauigkeit errechnen, daß Zeit und Ort

von Sonnen- und Mondesfinsternissen auf Jahrhunderte, ja Jahrtausende voraus und rückwärts bestimmt werden können; man bedenke, daß eine totale Sonnenfinsternis nur in einem sehr schmalen Streifen auf der Erdoberfläche eintritt und daß sie nur wenige Minuten dauert; solche Rechnungen haben es erlaubt, wichtige historische Überlieferungen über Jahrtausende rückwärts genau zu datieren.

Im 18. und 19. Jahrhundert ist im Anschluß daran die durchaus mathematische Himmelsmechanik erwachsen, welche es erlaubt, große Feinheiten im Planetenlauf zu erklären und rechnend zu verfolgen, oder auch vorausszusagen; so wird auf Schritt und Tritt die Gültigkeit von Gesetzen der irdischen Physik weit über die Erde hinaus bestätigt: Als besondere Triumphe sind hier die Voraussagen über Existenz und wahrscheinlichen Ort eines bis dahin noch nicht beobachteten Planeten zu nennen, die 1846 zur Entdeckung des Neptun, 1931 zu der des Pluto geführt haben; in unseren Tagen ist man einem transplutonischen Planeten auf der Spur, auf dessen Vorhandensein aus den verwandten Bahnelementen einer Gruppe von fünf Kometen geschlossen werden kann; wissen wir doch, daß sich die wiederkehrenden Kometen unseres Sonnensystems an die wichtigen Planeten „anlehnen“.

Seit dem vorigen Jahrhundert hat sich die Astronomie von dem Studium des Planetensystems immer mehr hingewandt zum Studium der Fixsterne; es wurde erkannt, daß sie alles andere als „fest am Platze“ sind; sie bewegen sich vielmehr, ihre Abstände und Geschwindigkeiten wurden meßbar, und schließlich wurde erkannt, daß alle sichtbaren und viele mit Instrumenten erkennbaren Sterne ein riesiges System bilden, das Milchstraßensystem, mit einem Durchmesser von einigen Zehntausend Lichtjahren. Doppelsterne ließen die Gültigkeit des Gravitationsgesetzes weit über das Planetensystem hinaus erkennen.

Die Spektralanalyse endlich führte einwandfrei zur Erkenntnis, daß in den Sternen keine chemischen Elemente auftreten, die uns nicht aus dem irdischen Laboratorium bekannt sind; es wurde möglich, zu gut begründeten Vorstellungen zu kommen, wie es zugeht, daß die Sterne über Zeiten von der Größenordnung einiger

Milliarden Jahre ungeheure Energiemengen ins Weltall abstrahlen können; diese Sternphysik gipfelt in Untersuchungen über das Innere und den Aufbau der Sterne, und schließlich sogar über die Entwicklung von Sternen und Sternensystemen, vom Werden zum Vergehen. Dies alles ist möglich geworden, weil wir die Botschaften von tausend und abertausend Sternen mittels der Spektralanalyse entschlüsseln können; und seit die Quantentheorie des Atombaus, etwa von 1913 an, das Zustandekommen der Spektren mathematisch begründen konnte, ermöglicht das genaueste Lesen der Sternspektren weitreichende Rückschlüsse auf den inneren Zustand der Sterne. Daraus schälte sich eine gut erkennbare Entwicklungslinie heraus, so daß wir Sterne verschiedener „Altersstufen“ verfolgen können, indem die verschiedenen Alter bei gleichzeitigen Beobachtungen in örtlichem Nebeneinander vor unsere Augen treten.

Das Milchstraßensystem aber erscheint uns heute nur als ein Beispiel von Sternsystemen, wie sie große Teleskope in immer riesenhafteren Anzahlen erkennbar machen. Diese Systeme, Spiralnebel genannt, bestehen — wie die Milchstraße — aus Sternen in ähnlicher Art und Zahl; sie sind auch von verwandter Größe; auch hier sind Entwicklungslinien erkennbar geworden, und unsere Milchstraße ordnet sich bei den Nebeln von ziemlich weit fortgeschrittener Art ein. Mit großer Sicherheit kann festgestellt werden, daß die Struktur der nachprüfbaren Naturgesetze und -erscheinungen auch in den Spiralnebeln den aus dem eigenen System vertrauten Gesetzen entspricht.

Bei einem Überblick über die Physik der Sterne können wir uns davon überzeugen, wie unsere Sonne ein recht alltäglicher Dutzendstern ist. Es gibt eine gewisse Norm für die Sternmasse, die von etwa dem 30fachen bis zu etwa einem Viertel der Sonnenmasse streut: Größere Massen kommen vor, aber nur höchst selten, kleinere mögen sich der Beobachtung entziehen, weil sie zu lichtschwach sind. Es scheint einen inneren Grund zu geben, der größere Sterne nicht zustandekommen läßt oder sie instabil macht. Hier setzt die umfangreiche Theorie vom Sternaufbau ein, die mit allen Mitteln der modernen Physik und Mathematik, mit

Experiment und Theorie arbeitet, die die Sterne als Erweiterung unserer irdischen Laboratorien ansehen läßt und es erlaubt, ihren Energiehaushalt immer besser zu verstehen. Es sind grundsätzlich Prozesse im Zusammenhang mit der Physik der Atomkerne, welche für die Energiemengen aufkommen, die ein Fixstern, wie auch die Sonne, in den Weltraum ausstrahlt. Der Aufschwung der Atomphysik steht im dauernden Wechselspiel mit den Fortschritten der Astrophysik.

In den normalen Fixsternen fällt dabei das Überwiegen der Elemente mit kleinen Atomgewichten auf; die sind dort viel häufiger als auf Erden; die Strahlung wird gespeist aus dem **Aufbau** leichter Elemente, wie Helium, aus Wasserstoff — aber auch aus komplizierteren Kernprozessen vieler Art — deren „Energie-tönung“ aus der Relativitätstheorie verständlich wird.

Umgekehrt beobachteten wir auf der Erde die ersten Kernprozesse um die Jahrhundertwende, an der natürlichen Radioaktivität, als **Abbau** von Elementen höchster Atomgewichte. Der radioaktive Zerfall verläuft unbeeinflußt von den „geringen Änderungen“ der physikalischen Verhältnisse, welche seit dem Erstarren der Erdkruste herrschen; die Zerfallsgeschwindigkeit entspringt aus Wahrscheinlichkeitsgesetzen, die bei großer Atomzahl (diese liegt immer vor) höchst genau eingehalten werden. Darin erblicken wir eine in der Erdkruste eingebaute Uhr: Es ist mit großer Sicherheit möglich, daran die Zeit seit dem Entstehen der Erdkruste abzulesen: Rund 1200 Millionen Jahre.

Die Bibel läßt das Alter der Menschheit seit dem Paradiese auf rund 6000 Jahre schätzen; sie trifft damit recht gut die Zeit seit der Erfindung der Schrift. Geologische Erkenntnisse deuten dafür auf wenigstens einige hunderttausend Jahre. Die Radiumuhr, und die Erkenntnisse über Sternaufbau und Nebelflucht lassen uns die Welt als Ganzes auf etwa fünf Milliarden Jahre schätzen; es mögen acht Milliarden sein, vielleicht auch nur vier; aber in diese Zeitspanne weist alles, was wir bisher an Erkenntnissen gewonnen haben.

Vom Aufbau unseres Planetensystems ging die Astronomie aus. Von ihren Triumphen auf diesem Gebiet wandte sie sich ins

Weltall zur Stellarastronomie und zur Astrophysik der Fixsterne — anderer leuchtender Sonnen — und der Spiralnebel, als Systeme von Sonnen. All diese Sonnen zeigen so große Temperaturen, daß sie selbst für unseren Zusammenhang ausscheiden: Dort ist Leben unmöglich. Und doch brauchen wir den weiten Überblick über sie, um zu erkennen, wie mannigfach das Weltall ist, wie zahlreich seine Sonnen sind, und wie gleichartig die Gesetze, die allenthalben herrschen ⁴).

3. Wir wenden uns jetzt zu dem zweiten Wunder: Dem Leben. Was ist denn Leben überhaupt, und unter welchen Bedingungen kann es Leben geben?

Dazu müssen wir eine lange Forschungskette in dürren Worten zusammenfassen: Wir sehen das Wesen des Lebens in dem eigentümlichen Prozeß der Selbstverdoppelung von sehr großen Molekülen, Makromolekülen, die alle im wesentlichen den Typus von Eiweißmolekülen zeigen. Es ist ein Prozeß, der mit der Kristallbildung manche Züge teilt, aber weit über sie hinausgeht. Es sind nämlich zunächst gewisse Grundbausteine die reproduziert werden müssen; sie können sich von einander trennen, und leiten dann einen langwierigen, und in unzähligen Abweichungen ins Einzelne verschiedenen Prozeß weiteren Aufbaus ein, der zu den Formen der Einzeller oder Mehrzeller von Pflanzen oder Tieren führt. In diesen finden sich die Grundbausteine in jeder Zelle wieder; bei Mehrzellern sind nur gewisse Zellen fähig, den Reproduktionsprozeß bis zu neuen Wesen gleicher Art einzuleiten.

Wir kennen die Gesetze dieses Aufbaus und haben gelernt, die zahllosen Beobachtungen zu entwirren, die sich erst sehr verwickelt dargeboten haben. Jetzt sind sie auf einfache Grundzüge zurückgeführt. Ich umreiße das in großen Zügen, muß und darf mich aber dabei auf die entscheidenden Linien beschränken ⁵).

Die Grundbausteine nennen wir Gene. Bei höheren Lebewesen sind sie in größeren Zahlen (um fünfzig oder hundert zu meist) zusammengefaßt, und in einer Reihe, linear, und in besonderen Fällen genau unterscheidbar, auf den Chromosomen angeordnet; diese bilden wieder zu mehreren, gesetzmäßig wohl unter-

schieden, das Wesentliche des Zellkerns. Wo geschlechtliche Fortpflanzung herrscht (fast überall) treten die Chromosomen paarweise zugeordnet auf. Jedes Paar trägt — im wesentlichen — dieselben, oder doch engst verwandte Gene; das Zusammenspiel dieser Genpaare, die bei kleinen Unterschieden Abweichungen in der Erscheinungsform des entstehenden Wesens nach sich ziehen, führt zu großer Mannigfaltigkeit der Formen; es unterliegt mathematischen Gesetzen der Kombinatorik und Wahrscheinlichkeitslehre und erfährt durch sie übersichtliche Ordnung.

Jedes Gen ist ein Makromolekül, eine Atomgroßstadt, in der einige zehntausend oder sogar hunderttausend Atome nach festem Bauplan angeordnet sind. Soweit wir wissen, ist dabei die räumliche Struktur dieser Moleküle nahezu der eines langgestreckten Straßendorfs vergleichbar, mit einer Hauptstraße und vielen kurzen Seitengäßchen (Seitenketten aus Radikalen). Die Struktur solcher Makromoleküle lehnt sich nach jüngsten Einsichten an die einfachste Raumkurve, die Schraubenlinie, an. Es tritt dabei eine Periode der Schraubung auf, die einen unganzen Bruchteil des vollen Winkels beträgt. Schraubenstrukturen mit 3,7 oder mit 5,1 Resten je Umlauf sind ausgezeichnet. Diese Anordnung läßt die „Nebenbindungen“ verstehen, welche schon lange als wesentliche Eigentümlichkeit langgestreckter Großmoleküle aus wiederkehrenden Bauelementen bekannt sind^{5a}). Wenn man auch schon seit längerer Zeit diese Schraubenstruktur aus verschiedenen Gründen als gegeben ansah, so dürften die neuesten Arbeiten doch eine schlüssige Begründung und vertiefte Einsicht gestatten.

In den Chromosomen freilich scheinen die Gene mehrfach aufgerollt, wie Band auf einer Spule, und könnten einem Haufendorf gleichen; sie nehmen auf dem langgestreckten Chromosom nur einen kurzen Abschnitt ein; die besonders großen Speicheldrüsenchromosomen der Tauflice lassen diese Anordnung erkennen und machen sie einer Stange aus Farbbandrollen vergleichbar.

Jedes Gen hat Fähigkeit und Neigung, sich zu verdoppeln, ein Ebenbild neben sich aufzubauen und sich dann von diesem zu trennen. Es ist merkwürdig, daß dieser Neubau im Sinne einer Kongruenz geschieht, und nicht im Sinne eines Abdrucks vom

Druckstock. Die Versuche, das Zustandekommen solcher Verdoppelungen räumlich ins Einzelne zu verstehen, haben in den letzten Jahren viel Raum in den Fachzeitschriften eingenommen; sie haben eben daran erhebliche, und noch nicht befriedigend gelöste Schwierigkeiten gefunden. Offenbar ist unsere Kultur zu sehr an Negativ und Positiv, an Satz und Druckerschwärze gewöhnt, um von der Vorstellung abzukommen, so sei's am leichtesten.

Wir finden diese Reproduktionen bei Tier und Pflanze bis hinab zu den untersten Grenzen des Lebens an Bakterien, Phagen und selbst bei den Viren, bei denen die Berührung zu Kristallisationen am engsten scheint. Im allgemeinen liegen diese Verdoppelungen dem normalen Wachstumsvorgang zugrunde; bei jeder Zellteilung vollziehen sie sich. Nur im Zusammenhang mit Vorgängen um die Fortpflanzung treten bei Geschlechtszellen Besonderheiten auf, die nicht die einzelnen Gene, wohl aber das Verhalten der Chromosomenpaare betreffen. In unserem Zusammenhang braucht aber darauf nicht eingegangen zu werden.

Die Verdoppelung der Gene ist durchweg außerordentlich stabil: Soweit wir bisher wissen, kommt es dabei in der Regel zur genauen Wiederholung des Bauplans. Daraus folgt die große Beständigkeit als ein Grundzug in den Erscheinungen des Lebens.

Es gibt aber doch gewisse, seltene Abweichungen vom Bauplan. Wir denken hier weniger an den Aufbau eines Chromosoms aus vielen Genen (man weiß, daß schon dieselben Gene, in veränderter Reihenfolge angeordnet, verschiedenartige Auswirkungen zeitigen), als vielmehr an den Aufbau eines Einzelgens: Der Plan unseres Straßendorfs wird nicht genau wiederholt: irgend eine „kleine Seitenstraße“ wird abgeändert — ein anderes Radikal sättigt eine freie Valenz ab.

Eine solche Änderung nennt man *Mutation*. Sie führt zu einem Gen, das mit dem Ursprünglichen noch nahe verwandt ist, und das es in der Regel ersetzen kann; es nimmt auf dem Chromosom den gleichen Platz ein („Genlocus“) und vertritt es in seinem Einfluß auf das werdende Wesen: Und doch kann dieser Einfluß merkbar in eine etwas andre Erscheinungsform drängen. Solche nah verwandte Gene nennt man *Allele*: in einfachsten Fäl-

len entscheidet das Vorhandensein des einen oder des andern Allels über die Farbe einer Blüte, über Haar- oder Augenfarben u. ä. m.

Ein einzelner Fehler solcher Art erscheint als ein Zufall. Bei einer sehr großen Anzahl von Reproduktionen aber wird merklich, daß solche Zufälle wiederkehren und mit einer gewissen Regelmäßigkeit auftreten. Sie werden beim Heranziehen einer neuen Generation erkennbar: So kennt man eine besonders häufige Mutation bei der Zea Mais mit der Häufigkeit 1:2000, und ähnlich eine Mutation eines Gens auf dem weiblichen Geschlechtschromosom des Menschen mit der Häufigkeit 1:50 000, die zum Auftreten der Bluterkrankheit führt. Bluter entstehen also immer wieder aus einer normalen Bevölkerung, durch einen Baufehler bei der Reproduktion eines Gens. Die Bluterkrankheit tritt aber fast nur bei Männern in Erscheinung, weil bei Frauen das fehlgebaute Gen durch ein gesundes Allel auf dem gleichen Genlocus des Partners im Chromosomenpaar kompensiert wird (bis auf 1:50 000² — also eine⁶) unter zweieinhalb Milliarden Frauen), während das männliche Geschlechtschromosom nur vereinzelte Gene enthält, und jedenfalls kein entsprechendes Allel.

Wir könnten versucht sein, eine Übersichtskarte eines Gens zu entwerfen, und bei jeder Seitenkette, eine Wahrscheinlichkeit für Abweichung vom Grundbauplan zu vermerken. Natürlich sind verschiedene Abweichungen denkbar. Diese mögen ähnlich verstanden werden wie in der Quantenmechanik — als Matrix von Bindungsenergien; jede chemische Bindung kann gelöst werden, wenn genügend große Energie zur Verfügung steht. Diese braucht nicht einmal größer zu sein als die Bindungsenergie — die Lösung könnte u. U. schon nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen erfolgen, wie man das aus der Theorie des Atombaus kennt. Aber auch der Anbau einer „falschen“ Seitenkette, der zu einem bestimmten Allel Anlaß gibt, unterliegt solchen Gesetzen. Für die Mutationen wäre dann eine „Mutationsmatrix“ maßgebend, welche „alle Möglichkeiten übersehen ließe“.

Mutationen wandeln in der Regel das Erbgefüge ab; je größer sie sind, desto stärker ist der Einfluß; und er richtet sich meist auf

eine Herabsetzung der Lebenstüchtigkeit — wenn das neue Individuum derselben Umwelt ausgesetzt bleibt⁷⁾). Bei veränderter Umwelt freilich kann zum Vorteil werden, was erst Nachteil war; man kennt (bei der Taufliege) Mutanten, die bei geringer Änderung der Temperatur (23 statt 25 Grad) wesentlich überlegen werden, während sie bei 25 Grad untüchtig sind und der Auslese erliegen.

Die Gesamtheit der Mutationen darf verstanden werden als eine entscheidende Methode der Natur, die Beständigkeit der Lebensformen immer erneut zu durchbrechen, und neuartige Individuen, mit geringen Unterschieden hervorzubringen, als eine Probe aufs Exempel: Bei veränderten Umweltbedingungen mögen sie sich durchsetzen als überlegen, wo die Ausgangsgene unterlegene Individuen entstehen lassen. So erscheinen die Mutationen als der Motor in der Fortentwicklung des Lebens, in der Entstehung der Arten. Die Mutationen bieten neue Formen an; der Kampf ums Dasein liest aus, in harter Umwelt, die vernichtet oder bejaht.

Es kann eintreten, daß eine Mutation von Allel A zu A' auch in umgekehrter Richtung bemerkbar wird, von A' zu A. Doch sind die Wahrscheinlichkeiten meist sehr stark verschieden, so daß Mutation und Rückmutation im Sinne eines Ventils für eine Entwicklung wirken, das praktisch nur in einer Richtung passiert werden kann.

Wir kennen gewisse Eingriffe, die Mutationen begünstigen; man nennt dazu meist Vorgänge aus dem Bereich der Quantenphysik, Licht, besonders im Ultraviolett, Röntgen- und Gammastrahlung, sowie Materiestrahlung aller Art: radioaktive Strahlen (α und β), Neutronen, Mesonen. Durch sinnreiche Versuche konnte gezeigt werden, daß viele Mutationen als Eintreffer-Erscheinungen gedeutet, aus einem Quantenstoß entstanden sein müssen⁸⁾. Wir dürfen aber erwarten, daß diese heute viel untersuchten gewaltvollen Eingriffe in den normalen Ablauf der Natur dort doch recht selten sind, und nicht die Ursachen für die in der Natur spontan auftretenden Mutationen darstellen; sie bieten sich aber dem La-

horatoriumsbiologen als ein leicht beherrschbares und mit großer Wahrscheinlichkeit wirksames Mittel, Mutationen auszulösen.

Es wäre daran zu denken, daß auch gewisse chemische Stoffe mutationsauslösend wirken. Zuerst hat man die Störungen beobachtet, welche das Colchicin (der Giftstoff der Herbstzeitlose) in der Reproduktion des Chromosomensatzes als Ganzes nach sich zieht; man kennt jetzt viel weitere Stoffe ähnlicher Art, wie etwa das Senfgas (Mitosegifte). Es darf angenommen werden, daß u. U. auch gewisse körpereigene Stoffe die Mutation einer Seitenkette begünstigen. An einem Gen treten oft mehrere gleich gebaute Ketten auf, so daß es u. U. zur Wiederholung von gleichartigen Abweichungen kommen kann, die sich in ihrer Wirkung verstärken und den Eindruck einer gerichteten Änderung hervorrufen können ⁹⁾.

4. Nach den geschilderten Ergebnissen der Genetik kann man zur Vorstellung kommen, daß nach der Entstehung eines Moleküls vom Eiweißtypus — man mag sie „zufällig“ nennen, solange man nicht genug weiß — durch wiederholte Verdoppelung, und immer neue Mutationen die Vielfalt des Lebens in langen Entwicklungsfolgen entstanden sei. Aus einem vielleicht kleinen Eiweißmolekül mag unter Änderungen von Seitenketten, durch weiteren Ausbau der Hauptkette zu immer größerer Länge, eine große Zahl verschiedenartiger Moleküle entstanden sein. Gewisse Anhaltspunkte dafür bieten neueste Forschungsergebnisse an der unteren Grenze des Lebens, soweit man sie bis heute erkannt hat, an den Viren. Diese sind, wie etwa das Tabakmosaikvirus, fähig zur Kristallisation ¹⁰⁾ und zeigen dann auch bekannte Eigenschaften der Kristalle — während sie andererseits auf Pflanzen leben und typische Krankheitsbilder hervorrufen; man kennt viele ähnliche Erscheinungen besonders bei den Nachtschattengewächsen, denen wichtige Kulturpflanzen zugehören: Kartoffel, Tomate, Tabak.

Es ist weit verfrüht, hier zu weitgehende Spekulationen anzuknüpfen. Es ist für uns auch einerlei, ob das Leben aus einem zufälligen Entstehen eines Eiweißmoleküls abzuleiten sei, oder

aus einer Vielzahl solcher Entstehungen (für die wir sogleich an neue Wahrscheinlichkeitsgesetze denken könnten).

Wir wissen aber genug um zu sagen, daß das Leben in der Mutation der Gene eine höchst bedeutungsvolle Quelle der Entwicklung „gefunden“ hat. Die zweite wichtige Stufe des Fortschritts liegt in der Vergesellschaftung mehrerer verschiedenartiger Gene — aus der erst das entsteht, was wir Lebewesen nennen mögen, im Gegensatz zu Viren, die aus der Vervielfachung eines Gentyps für sich verstanden werden mögen; wir kennen Mutationen auch an Viren. Die dritte Stufe liegt in der „Entdeckung“ der geschlechtlichen Fortpflanzung, unter Verdoppelung des Gen- bzw. Chromosomensatzes und unter immer neuen Kombinationen von Allelen auf den gleichartigen Genorten.

Es ist die Frage aufgeworfen worden, ob die Erfahrungen der Genetik ausreichen, um das Bild von der Entwicklung des Lebens auf der Erde verständlich zu machen, welches die Historische Biologie, die Paläontologie, aus der Sammlung vieler Zeugen aus geologischen Epochen geschaffen hat. Die Genetik ist noch sehr jung, eben fünfzig Jahre; die Paläontologie hat zwar sehr reichen Stoff zusammengetragen, aber doch nur in seltenen Fällen befriedigende und lückenlose Entwicklungsreihen aufstellen können. Die Entwicklung vom Equihippus zum Pferd ist eine besonders schöne Reihe.

Einige führende Paläontologen — ich nenne besonders Hrn. Schindewolf¹¹⁾ — vertreten den Standpunkt, daß die Genetik nicht ausreichen könne, das Werden des Lebens in seiner Vielfalt zu begründen¹²⁾. Außer den kleinen, ungerichteten Mutationschritten, die sie festgestellt habe, müßten vielmehr noch ganz besondere „Großschritte“ von gänzlich anderer Art und Wirksamkeit angenommen werden, welche zu einer Aufspaltung der Großformen geführt hätten (Typostrophentheorie¹³⁾).

Unsere Wissenschaft hat bisher keinen Vorgang beobachten können, der im Sinne von Hrn. Schindewolf verstanden werden könnte. Noch sind wir deshalb auf reine Spekulation angewiesen. Es ist daran gedacht worden, daß Erscheinungen aus dem Weltall, Ausbrüche neuer Sterne in der Nachbarschaft des Sonnen-

systems (Novae und Supernovae) die Erde mit einem Schauer von Strahlung überschüttet haben könnten, der in ähnlicher Weise mutationsfördernd gewirkt haben mag, wie wir das in den genetischen Laboratorien im Kleinversuch durchführen (Vgl. S. 19); viele dieser Mutationen sind tödlich — vereinzelte mögen ganz Neuartiges zeitigen, das lebensfähig bleibt. Krankheit, Siechtum und Tod durch Fehlmutation scheint der Preis zu sein, den das Leben für seine Fortentwicklung zu neuen Formen einsetzt.

Es wäre selbstverständlich von hohem Interesse, die Auswirkungen der beiden Katastrophen von Hiroshima und Nagasaki, der Atombombenversuche im Stillen Ozean und anderwärts zu prüfen, soweit sie die Erscheinungsformen des Lebens beeinflußt haben. Dazu ist die verstrichene Zeit noch sehr knapp — und wir wollen darauf nicht eingehen.

Zeitmangel ist eine der Grundschwierigkeiten der genetischen Forschung. Für begründete Ergebnisse braucht man längere Generationsreihen, also Versuchsobjekte, die sich — gemessen an der Lebensdauer des Forschers — sehr rasch vermehren. Die Taufliege, mit einer Generationsfolge von rund einer Woche, hat sich dazu besonders tauglich erwiesen. Die raschesten Generationenfolgen freilich zeigen die Bakterien: etwa 20 Minuten. Doch besteht dort die Schwierigkeit, daß Bakterien nicht wie gewöhnliche Zellen einen wohl feststellbaren Zellkern haben. Es ist indes gelungen, verwandte Elemente durch die Feulgensche Nuklealfärbung festzustellen, welche auf das Vorhandensein von Nukleinsäuren hinweisen; diese bilden den Grundstoff von Genen.

In großartiger Weise sind solche Dinge im Laufe des Krieges aufgegriffen und verfolgt worden: Die Genetik der Mikroorganismen¹⁴⁾ führt zur Erkenntnis einer außerordentlichen Anpassungsfähigkeit gewisser Bakterienarten, welche auf Mutationen zurückgeht. Wir kommen unten noch einmal darauf zurück.

Der Mathematiker wird vor den drängenden Fragen zwischen Genetik und Paläontologie Zusammenhänge erkennen, welche bei der Aufdeckung der physikalischen Gesetze ganz geläufig sind: Die Ergebnisse der Genetik vermitteln Kenntnis von Entwicklungs- und Fortschrittingsrichtungen im Lebensraum im Klei-

nen: Jedem Punkt sind eine oder mehrere ausgezeichnete Richtungen zugeordnet, nach denen die Entwicklung fortschreiten kann: Ein ein- oder mehrwertiges Richtungsfeld. Es entsteht die Aufgabe, die Kurven aufzubauen, die an jeder Stelle die vorgeschriebene Richtung zeigen — wie in der Theorie der Differentialgleichungen. Die Aufgabe, von der Genetik zur Phylogenie vorzustoßen, entspricht also der Integration eines Richtungsfeldes. Freilich wird dieses stets nur in einzelnen Punkten ausgelotet und damit bekannt sein; und wir wissen noch nicht, welche Singularitäten es birgt: da versagt die Genetik, und es wäre nach neuen Erfahrungen auszuschauen, um — etwa — im Sinne der Typostrophentheorie voranzukommen.

5. Nach den vorliegenden Erfahrungen der Chemie ist zur Zeit keine Molekülklasse bekannt, die ähnlich weitreichende Fähigkeit und Neigung zur Reproduktion zeigt, wie das Eiweiß. Dies gilt sowohl im Bereich der Kohlenstoffchemie, wie erst recht außerhalb davon. Nur das Silicium, dem Kohlenstoff durch seine Stellung im Periodischen System am nächsten verwandt, überragt durch die Zahl und den Umfang seiner Verbindungen alle anderen Elemente, bleibt aber doch um viele Größenordnungen hinter dem Reichtum und dem makromolekularen Charakter der Kohlenstoffverbindungen zurück.

Da wir wissen, daß es im Weltall keine anderen Elemente gibt, als die schon auf Erden bekannten, so ist von dieser Seite — Kohlenstoff durch ein andres Grundelement zu ersetzen — kein Vorgang zu erwarten, der dem „Leben“ auch nur annähernd vergleichbar wäre.

Die neuen Elemente endlich, die in der Natur nicht vorkommen, sondern erst durch Kernprozesse in den letzten Jahren wieder aufgebaut wurden, mit den Kernladungszahlen 93 bis 98, können wohl wegen ihrer geringen Lebensdauer nichts an dieser Feststellung ändern — auch wenn wir von ihrer Chemie erst sehr wenig wissen. Sie haben alle Metallcharakter und unterscheiden sich vom Uran sehr wenig; sie gehören zu einer Nebengruppe des Periodischen Systems, die durch Ausbau innerer Schalen der

Atomhülle entsteht, entsprechend den Seltenen Erden. Selbst wenn solche Atomkerne bei Prozessen der Sternentstehung oder bei Sternexplosionen (Nova- und Supernovaausbrüchen) entstehen sollten, so müssen sie angesichts der hohen Temperaturen ihrer Umgebung, des Metallcharakters und der niedrigen Halbwertszeit für unsere Fragestellung belanglos sein. Die Halbwertszeit, in der eine gegebene Menge solcher Kerne bis auf die Hälfte zerfällt, beträgt bei den vom Zyklotron bekannten, jeweils längstlebigen Isotopen für das Element

93 Neptunium	2,2 Millionen Jahre
94 Plutonium	24 000 Jahre
95 Americium	510 Jahre
96 Curium	150 Tage
97 Berkelium	4,5 Stunden
98 Californium	2 Stunden

Wir sehen daran, daß die Halbwertszeiten der Elemente mit zunehmender Ordnungszahl außerordentlich rasch absinken: diese Elemente, und die mit noch höherer Ordnungszahl (wenn es sie gibt) sind in höchstem Grade instabil. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß bei einem so kleinen Weltkörper wie der Erde mit einer Abkühlungszeit von rund 1200 Millionen Jahren zu rechnen ist, von denen ein erheblicher Teil für die Entwicklung des Lebens in der uns bekannten Form in Betracht kommt, so können wir wohl verstehen, daß von solchen Elementen nichts zu erwarten ist, was den Erscheinungen des Lebens auch nur entfernt nahekäme.

6. Wir haben nun in großen Zügen die Verhältnisse in der Sternenwelt wie die Eigenart und die Existenzbedingungen für Leben gekennzeichnet. Wann nun kann Leben im Weltall existieren, Leben in dem ganz allgemeinen Sinne als ein Prozeß der Selbstreproduktion von Eiweiß: Von dieser Stufe aus könnten wir die Entwicklung zu immer höheren Stufen für möglich ansehen. Wir überblicken ja die Gesamtheit der Lebensvorgänge von den Viren, über die Phagen und Bakterien bis herauf zu höheren Pflanzen, den Tieren und dem Menschen als verbunden durch

diesen Reproduktionsprozeß, zum Guten und zum Schlechten wandelbar gemacht durch Mutation, zu immer neuen Formen durch die reichen Kombinationsmöglichkeiten in der geschlechtlichen Fortpflanzung.

Eiweiß ist nur in einem sehr engen Temperaturbereich beständig: kaum 200 Grad in der Umgebung des Gefrierpunkts. Dieser enge Spielraum dürfte dort nicht überschritten werden, wo Leben in unserem ganz allgemeinen Sinne möglich sein soll.

Auf den selbstleuchtenden Fixsternen aber herrschen schon an der äußeren Oberfläche, von der wir Lichtsignale empfangen und deuten können, außerordentlich viel höhere Temperaturen. Dort ist Leben ausgeschlossen.

Aber wenigstens ein Fixstern, unsere eigene Sonne, ist umgeben von nicht glühenden, nicht selbstleuchtenden Begleitern, den Planeten; dort herrschen viel mäßigere Temperaturen, aus dem Energievorrat der Sonne über große Entfernungen gespeist.

Gibt es Leben auf anderen Planeten außer der Erde?

Seit wenigen Jahren sind wir in der Lage, auch für unsere nächsten Nachbarn so sichere Feststellungen zu treffen, daß wir die Möglichkeiten überschauen können. Man muß beachten, um wieviel schwieriger es ist, etwa Temperaturmessungen bei unseren nicht leuchtenden Nachbarn Mars und Venus auszuführen, als bei den viel weiter entfernten leuchtenden Sonnen. Erst neue, besonders leistungsfähige Instrumente haben das gelingen lassen.

Soweit wir sehen können, spielt die Anwesenheit einer Atmosphäre eine erhebliche Rolle für das Leben. Jedenfalls bewirkt sie eine Milderung der Temperaturunterschiede, und trägt bei, diese auf das erlaubte Intervall einzuengen. Die Anwesenheit einer Atmosphäre hängt aber in hohem Maße ab von der Gesamtmasse eines Weltkörpers: Bei geringer Masse genügen schon relativ niedrige Temperaturen, um den Atomen und Molekülen der Atmosphäre die Überwindung der Schwerkraft durch die Wärmebewegung zu ermöglichen. Daher haben Monde und kleinste Planeten keine, oder nur eine ganz geringfügige Atmosphäre; die Unterschiede zwischen den Temperaturen auf der von der Sonne beleuchteten Seite und den der Sonne abgewandten Teilen sind

beträchtlich; bei Rotation des Planeten erscheinen diese Unterschiede in „täglichem“ Wechsel.

Merkur, der Sonne am nächsten, wird auf rund 400 Grade erhitzt; er ist zu heiß und dürfte ausscheiden.

Venus, nur wenig kleiner als die Erde, hat zwar eine dichte Atmosphäre, die viel CO_2 enthält. Doch fehlen in dieser alle Spuren von Sauerstoff und Wasserdampf; dieser Mangel spricht gegen die Möglichkeit einer Entfaltung des Lebens, wenn auch die Temperaturverhältnisse sie erlauben mögen.

Mars, mit einer Masse von knapp einem Neuntel der Erde, hat eine dünne Atmosphäre, die etwas Sauerstoff und Wasserdampf enthält. Strahlungsmessungen erlaubten, die Temperaturen an der Marsoberfläche zu prüfen. Sie liegen am Äquator (bei einer täglichen Umdrehung in 24 Stunden und 37 Minuten) mittags eben über 0° , bei Sonnenaufgang unter -40° , im Mittel um -25° .

Jupiter und **Saturn** haben so geringe Sonneneinstrahlung, daß schon die Temperatur unter -100° festgestellt werden mußte, soweit unsere Messungen in die dichten und ausgedehnten Atmosphären eindringen konnten. Dazu zeigen diese bei der Spektralanalytischen Untersuchung deutliche Banden von Methan und Ammoniak, beides Gase, die auf Erden als lebensfeindlich bekannt sind.

Danach sind die Aussichten für Leben am günstigsten auf dem Mars, wo Verhältnisse herrschen, die etwa mit denen unserer Polargebiete in Kanada, Grönland und Nordsibirien verglichen werden könnten.

7. Wir glauben aber offen lassen zu müssen, ob nicht auch bei Venus und Jupiter gewisse Möglichkeiten bestehen. Die Atmosphäre der Venus ist so dicht, daß wir die Oberfläche nicht sehen können, und auch unsere Messungen dürften sich mehr auf die Verhältnisse in mittlerer Schicht der Atmosphäre beziehen, als auf die bodennächste Schicht. Das Fehlen von Sauerstoff und Wasserdampf in diesen Schichten, die Anwesenheit lebensfeindlicher Giftgase auf der anderen Seite braucht Leben in dem weiten Sinne nicht auszuschließen, wie wir ihn gefaßt haben.

Wissen wir doch, daß manche Bakterien gelernt haben, mit Schwierigkeiten solcher Art fertig zu werden, mit sehr wenig Sauerstoff auszukommen und Gifte verschiedener Art zu überwinden, derart, daß Gifte, die einen Bakterienstamm im Normalfall töten, für einzelne Überlebende ungefährlich, ja sogar unentbehrlich werden können.

In dem Kampf, den wir neuerdings mit Sulfonamiden, Penicillin, Streptomycin und ähnlichen Mitteln gegen Infektionskrankheiten führen, ist zunächst oft ein Großerfolg erzielt worden, während später die Erfolge zurückgingen. So ist am Ende des Krieges deutlich erkennbar geworden, daß Gonokokken als Erreger der Gonorrhoe, gegen Sulfonamide allmählich fest wurden; die Erscheinung kann dahin gedeutet werden, daß bei solcher Behandlung das Gros der Gonokokkenpopulation dem Sulfonamid erliegt, daß aber einzelne sulfonamidfeste Mutanten zurückbleiben und sich erneut auf den Schleimhäuten ausbreiten, sobald die Masse ihrer Artgenossen hinweggeschwemmt ist. Es tritt ein Rezidiv auf, das nun aber nicht mehr durch Sulfonamide angreifbar ist. Man könnte daran denken, daß in diesem Falle eine Mutation an einem einzigen Genort den Gonokokkenstamm aufspaltet: Die Normalart mag auf den Schleimhäuten im allgemeinen im Auslesevorteil stehen, unterliegt aber dem Umweltwechsel durch das Eingreifen des Sulfonamids. Die Mutante dagegen, im allgemeinen im Auslesenachteil, daher bis etwa 1944 selten und belanglos, und unbemerkt, ist sulfonamidfest und nischt sich sofort ein, wenn die Normalart verschwunden ist. Die Verwendung des neuen Heilmittels bedingt — mit der Zeit ganz allgemein — eine Verschiebung des Gleichgewichts der beiden Arten.

Ganz ähnliche Beobachtungen hat man bei der Behandlung der Miliartuberkulose mit Streptomycin machen können; auch hier gelingt im Regelfall die Heilung; kommt es aber zu einem Rezidiv, so ist dieses mit demselben Mittel nicht mehr angreifbar. Man ist deshalb in derartigen Fällen zur Kombination zweier verschiedenartiger Heilmittel übergegangen, wodurch die Wahrscheinlichkeit für das Überleben von Mutanten, die gegen beide zu-

gleich fest sind, nach dem Multiplikationssatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung winzig klein wird.

Diese Auffassungen finden in der jüngst mit großem Erfolg eingeleiteten Forschung über Genetik der Mikroorganismen wesentlichen Rückhalt.

Gerade solche Erfahrungen aber lassen uns mit geziemender Vorsicht formulieren, daß das Auftreten einzelner Gase, die für höhere Stufen des Lebens als Gifte anzusprechen sind, nicht unbedingt Lebenserscheinungen im allgemeinsten Sinne unserer Ausführungen ausschließt. Wir müßten nur damit rechnen, daß solche Erscheinungen, mögen sie auch auf einer Eiweißgrundlage einmal begonnen haben, sich unter dem Einfluß einer so andersartigen Umwelt von vornherein in einer anderen Richtung entwickeln mögen, und das Leben in Formen abdrängen, die ganz anders sind als in irdischer Umwelt. Wir müssen aber einräumen, daß auch dort Lebensformen noch möglich sein können, die auf dem Prinzip der Selbstreproduktion, der Mutation und der Höherentwicklung zu neuen Formen, sowie der Auslese durch Umweltbedingungen in eine Vielfalt von Stufen des Lebens aufspalten.

Vielleicht wäre es eine interessante Aufgabe, in bakteriologischen und in Virusforschungsinstituten die Auswirkung von Giftgasen wie Methan und Ammoniak, die wir aus Planetenatmosphären kennen, und vielleicht auch einigen verwandten Giften, näher zu untersuchen; es könnte so möglich werden, anstelle von rein negativen Ausschließungssätzen, die wir nur als unerlaubte Extrapolationen werten können, in gewissem Umfange Erfahrungen zu sammeln über die Anpassungsbreite des Lebens auf einfachsten Stufen; und damit wäre vielleicht eine neue Einsicht über die Möglichkeit von Leben im Weltall zu gewinnen.

8. Wir kehren nun zum Ausgangspunkt zurück, und wenden uns noch einmal von unserem Sonnensystem ins Weltall. Wir haben festgestellt, daß unsere Sonne nur ein Dutzendstern unter vielen Milliarden anderer Sonnen ist. Sollte sie allein durch den Besitz eines Planetensystems ausgezeichnet sein?

Astronomen und Mathematiker haben sich gründlich Gedanken gemacht über das Zustandekommen eines Planetensystems,

wie auch im gleichen Zusammenhang, etwa über die Entstehung des Mondes. Eigenartigerweise ist diese Theorie eingeleitet worden von G. H. Darwin, dem Sohn des großen Biologen Charles Darwin. In diesen beiden Männern begegnen sich die beiden Seiten unserer Fragestellung: Weltall und Leben.

Die Vorstellungen über Gleichgewichtsfiguren rotierender Himmelskörper, die aus Darwins Theorie von Ebbe und Flut erwachsen sind, und schließlich in wunderbaren Untersuchungen von höchster mathematischer Schärfe gipfelten, zeigten zunächst ein Ergebnis, welches das Auftreten von Spaltungen als recht selten erscheinen ließ. Merkwürdigerweise war es in unserem Sonnensystem einzig das Paar Erde—Mond, welches in die Theorie paßte.

Seit kurzem ist aber ein deutlicher Wandel eingetreten. Auch hier müssen Ansätze gemacht werden, welche auf die Dynamik des Sterninneren im Gefolge der gewaltigen Energieumsetzung durch Kernprozesse gebührend Rücksicht nehmen. Wir wollen darauf hier nicht näher eingehen, sondern nur betonen, daß man seit wenigen Jahren mit gutem Grunde das Entstehen von Planetensystemen als einen häufigen, beinahe als normalen Vorgang anzusehen geneigt ist. Es ist auch gelungen, die Existenz von Begleitersystemen bei einigen nahe benachbarten Fixsternen nachzuweisen, ohne daß es sich dabei um Doppelsterne mit dunklem Begleiter zu handeln scheint. (Solche sind in großer Zahl bekannt.)

Wenn dem so ist, so mögen die Aussichten für die Existenz von Leben im Weltall außerhalb der Erde gewaltig höher liegen, als wir das zur Zeit annehmen können. Aber diese Dinge liegen noch zu sehr im Bereich der kosmogonischen Spekulation, als daß wir uns darüber näher verbreiten wollten.

Anmerkungen:

¹⁾ Erst eine Hypothese liest eine bestimmte unter vielen Verbindungskurven mehrerer Knotenstellen aus. So in der mathematischen Interpolationslehre: die Annahme eines Polynoms von möglichst niedrigem Grade, oder die eines trigonometrischen Polynoms aus möglichst wenig Oberschwingungen. Jede Annahme dieser Art hat ihre Vorteile; in ihr steckt — bei jeder Anwendung auf ein physikalisches Problem — die Überzeugung von der Einfachheit der Natur, ganz wie das im folgenden Abschnitt zum Ausdruck kommt.

²⁾ R. A. Fisher, *The Theory of Inbreeding*, Edinburgh-London 1949

³⁾ Hugo Spatz: *Hirnentwicklung und Menschwerdung*. Nachr. Gießener Hochschulgesellschaft. Band 20, S. 32. Die Vorträge von Herrn Spatz und der meine, Weltall und Leben, waren auf einander abgestimmt und wurden bei derselben Festsitzung im Anschluß vorgetragen.

⁴⁾ An neueren deutschen Lehrbüchern der Astronomie stehen zur Verfügung:

Elis und Bengt Strömgren, *Lehrbuch d. Astronomie*, Berlin 1933.

W. Becker, *Sterne und Sternsysteme*, 2. Aufl., Dresden u. Leipzig 1950.

Newcomb-Engelmann, *Populäre Astronomie*, 8. Aufl., Leipzig 1948 (ältere Ausgaben sind veraltet).

⁵⁾ Zur Genetik vergleiche man in unserem Zusammenhang als ausführliche und grundlegende Darstellung die von Th. Dobzhansky, *Die genetischen Grundlagen der Artbildung*. Jena 1939.

^{5a)} Linus Pauling, Corey and Branson: *Two Hydrogen-Bonded Helical Configurations of the Polypeptide-Chain*. Proc. Nat. Acad. USA 37, 205—211 (1951).

⁶⁾ Mir ist ein solcher Fall persönlich bekannt geworden.

⁷⁾ R. A. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford 1930. Dieses Werk ist für die mathematische Durchdringung moderner biologischer Fragen grundlegend.

⁸⁾ N. W. Timoféeff-Ressovsky und K. G. Zimmer: *Biophysik I. Das Trefferprinzip in der Biologie*. (Einziger Band.) Leipzig 1947.

⁹⁾ Diesen Gedanken hat K. Bechert in Mainz in mehreren Gesprächen vertreten.

¹⁰⁾ Hierzu eine Reihe von Aufsätzen von Schramm, Bergold, Friedrich-Freksa u. a. Zs. Naturforschung 2 B (1947) u. spätere. Die Viren, welche Infektionskrankheiten des Menschen hervorrufen, scheinen noch weniger genau untersucht und sind daher im Text nicht hervorgehoben.

¹¹⁾ H. Schindewolf, Grundlagen und Methoden der paläontologischen Chronologie. 3. Aufl., Bln-Nikolassee 1950, bes. S. 122 ff. Dort auch Verweise auf ausführliche Darstellungen in Einzelarbeiten.

¹²⁾ Eine ablehnende Stellung vertritt auch Bernhard Rensch, Neue Probleme der Abstammungslehre. Die Transspezifische Evolution. Stuttgart. 1947.

¹³⁾ Genetiker aller Richtungen stehen in der Regel auf der anderen Seite. Man vergleiche hierzu auch den älteren, aber lesenswerten Aufsatz von Wilhelm Ludwig: Selektion und Stammesentwicklung. Naturwissenschaften 28, 689—705 (1940), sowie die Arbeiten von Sewall Wright, etwa: Statistical Genetics in Relation to Evolution. Actualités scientif. industr. 802, Paris 1939.

14) Einen Bericht über die Entwicklung in den USA gibt S. E. Luria, Recent Advances in Bacterial Genetics. Bact. Rev. 11, 1—40 (1947). Neuere Ergebnisse bei R. Kaplan, Mutationsforschung an Bakterien. Naturwissenschaften 37, 249—254, 275—284 (1950).